

СООРУЖЕНИЕ СТАНЦИЙ ДЛЯ ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА УСКОРИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ NICA

*А. Сливин^{a,1}, А. Агапов^a, А. Бутенко^a, Г. Филатов^a, К. Шипулин^a,
Е. Сыресин^a, А. Тузиков^a, Т. Кулевой^b, Ю. Титаренко^b,
Д. Бобровский^{b,е}, А. Чумаков^{b,е}, С. Соловьев^{b,е},
А. Кубанкин^д, П. Черных^е, В. Лузанов^ж*

^a Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

^b Институт теоретической и экспериментальной физики им. А. И. Алиханова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва

^в АО «ЭНПО Специализированные электронные системы» (СПЭЛС), Москва

^г Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва

^д ООО «Вакуумные системы и технологии», Белгород, Россия

^е ООО «Остек», Москва

^ж ООО «Гиро-Пром», Дубна, Россия

На базе ускорительного комплекса NICA ведется сооружение прикладных станций: ИСКРА (диапазон энергии 150–500 МэВ/нуклон), СОЧИ (энергия ионов 3,2 МэВ/нуклон) и СИМБО (диапазон энергии 500–1000 МэВ/нуклон). Прикладные станции предназначены для тестирования на радиационную стойкость как капсулированных, так и декапсулированных микросхем, а также для радиобиологических исследований и моделирования воздействия тяжелых заряженных частиц на когнитивные функции мозга животных. В работе представлено описание прикладных станций. Монтаж и пусконаладка станции СОЧИ завершены. Монтаж станций ИСКРА и СИМБО запланирован на начало 2022 г. Испытания с пучком на станции СОЧИ были проведены в декабре 2021 г., на станциях ИСКРА и СИМБО запланированы на осень 2022 г.

The applied stations: ISCRA (energy range of 150–500 MeV/nucleon), SOCHI (ion energy up to 3.2 MeV/nucleon), and SIMBO (energy range 500–1000 MeV/nucleon) are under construction as a part of the NICA accelerator complex. These stations will be used for single event effects testing of as encapsulated, so decapsulated microchips, and for radiobiological research and modelling of influence of heavy charged particles on cognitive functions of animal's brain respectively. This paper presents the applied stations description. Mounting and commissioning of the SOCHI station are completed. The ISCRA and SIMBO stations mounting is planned in early 2022. Beam runs at the SOCHI were performed in December 2021, at the ISCRA and SIMBO are planned in Autumn 2022.

PACS: 29.20.–c

¹E-mail: slivin@jinr.ru

ВВЕДЕНИЕ

В рамках проекта NICA (Nuclotron-based Ion Collider fAcility) [1] в ОИЯИ ведется сооружение инфраструктуры ARIADNA (Applied Research Infrastructure for Advanced Developments at NICA fAcility) для трех направлений прикладных исследований.

Первое направление включает в себя прикладную станцию для прогнозирования, оценки и контроля радиационной стойкости полупроводниковых изделий в диапазоне энергии 150–500 МэВ/нуклон для их дальнейшего использования в составе бортовых космических аппаратов и авиационных систем. Для этих целей в измерительном павильоне [2] корпуса № 1 Лаборатории физики высоких энергий (ЛФВЭ) ведется сооружение испытательной станции компонентов радиоэлектронной аппаратуры (ИСКРА). Длиннопробежные высокоэнергетичные ионные пучки на станции ИСКРА позволят облучать микросхемы в режиме пика Брэгга, а также избежать процедуры декапсуляции микросхем перед облучением.

Второе направление включает в себя прикладную станцию для исследований и тестирования декапсулированных микросхем (энергия ионов 3,2 МэВ/нуклон). Для этих целей в корпусе № 1 [2] ЛФВЭ смонтирована станция облучения чипов (СОЧИ).

Третье направление включает в себя прикладную станцию для радиобиологических исследований и моделирования воздействия тяжелых заряженных частиц на когнитивные функции мозга мелких лабораторных животных и приматов (диапазон энергии 500–1000 МэВ/нуклон). Для этих целей в измерительном павильоне [2] корпуса № 1 ЛФВЭ ведется сооружение станции исследований медико-биологических объектов (СИМБО).

ПРИКЛАДНАЯ СТАНЦИЯ СОЧИ

Станция СОЧИ (рис. 1, табл. 1) предназначена для исследований и облучений перспективных изделий полупроводниковой микро- и наноэлектроники пучками тяжелых ионов низких энергий на выходе с линейного ускорителя тяжелых ионов (ЛУТИ).

В табл. 1 представлены необходимые параметры ионного пучка для планируемых работ.



Рис. 1. Станция СОЧИ и прикладной канал от ЛУТИ

Таблица 1. Технические требования к ионному пучку на станции СОЧИ

Параметр	Значение
Типы ионов	$^{12}\text{C}^{4+}$, $^{40}\text{Ar}^{8+}$, $^{131}\text{Xe}^{22+}$, $^{84}\text{Kr}^{14+}$, $^{169}\text{Tm}^{21+}$, $^{197}\text{Au}^{31+}$, $^{209}\text{Bi}^{35+}$
Энергия ионов на выходе из ЛУТИ, МэВ/нуклон	3,2
Плотность потока ионов, $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$10^3 - 10^5$
Максимальная область облучения, мм	$\varnothing 29$
Диаметр пучка на мишени, мм	$\varnothing 73$

Оборудование для станции СОЧИ разрабатывается в рамках коллаборации ОИЯИ–ИТЭФ с участием СПЭЛС/МИФИ, «Гиро-Пром», ВСТ. Система диагностики представлена следующими детекторами: ионизационным детектором на основе микроканальных пластин, системой для диагностики и контроля плотности потока ионов и флюенса гало-пучка в режиме реального времени (4 сцинтилляционных детектора), детектором на базе быстрого сцинтилляционного детектора с оптическим съемом информации, детектором на базе цилиндра Фарадея, детектором на базе быстрого люминофорного детектора с оптическим съемом информации. Сигналы с детекторов диагностики пучка интегрированы в общую систему сбора данных [3]. Монтаж прикладной станции СОЧИ завершен в октябре–ноябре 2021 г. Первый эксперимент с пучками ионов C^{4+} проведен в декабре 2021 г. Пучки ионов проведены через новый канал транспортировки пучка до прикладной станции, где они были зарегистрированы детекторами станции СОЧИ. Пусконаладочные работы на станции СОЧИ будут продолжены весной 2022 г.

ПРИКЛАДНАЯ СТАНЦИЯ ИСКРА

Станция ИСКРА (рис. 2, табл. 2) предназначена для исследований и испытаний изделий полупроводниковой микро- и нанoeлектроники на стойкость к воздействию тяжелых заряженных частиц высоких энергий. Оборудование для станции ИСКРА разрабатывается в рамках коллаборации ОИЯИ–ИТЭФ с участием СПЭЛС/МИФИ, «Гиро-Пром».

Таблица 2. Технические требования к ионному пучку на станции ИСКРА

Параметр	Значение
Типы ионов, энергия, МэВ/нуклон	$^{197}\text{Au}^{79+}$, 150–350 $^{131}\text{Xe}^{54+}$, 150–367 $^{12}\text{C}^{6+}$, 150–392
Плотность потока ионов, $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$10^2 - 3 \cdot 10^5$
Область облучения в режиме сканирования/без сканирования, мм	$200 \times 200 / \varnothing 29$
Однородность потока при облучении максимальной области в режиме сканирования/без сканирования, %	15/10



Рис. 2. Система позиционирования (а) и ослабитель энергии (б) станции ИСКРА

Система диагностики представлена следующими детекторами: ионизационной камерой, ионизационной пропорциональной проволочной камерой, миниатюрной газонаполненной ионизационной камерой, сцинтилляционно-файберным детектором, полупроводниковым детектором, измерителем плотности потока частиц в режиме реального времени на основе 4 сцинтилляторов (или 4 полупроводниковых детекторов). Абсолютные измерения плотности потока ионов могут быть выполнены с использованием полимерных пленок толщиной 0,1 мм, установленных в заданных точках [3].

ПРИКЛАДНАЯ СТАНЦИЯ СИМБО

Станция СИМБО (рис. 3, табл. 3) предназначена для проведения радиобиологических исследований с целью моделирования воздействия тяжелых заряженных частиц галактических и солнечных космических лучей на когнитивные функции мозга приматов и мелких лабораторных животных. Оборудование для прикладной станции СИМБО разрабатывается в рамках коллаборации ОИЯИ–ВСТ с участием «Остек».

Таблица 3. Технические требования к ионному пучку на станции СИМБО

Параметр	Значение
Типы ионов	$^{12}\text{C}^{6+}$, $^{40}\text{Ar}^{18+}$, $^{56}\text{Fe}^{26+}$, $^{84}\text{Kr}^{36+}$
Энергия ионов на выходе из нуклотрона, МэВ/нуклон	500–1000
Плотность потока ионов, $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$10^3 - 10^6$
Доза облучения, Гр	1–3
Область облучения в режиме сканирования/без сканирования, мм	$100 \times 100/\varnothing 10$

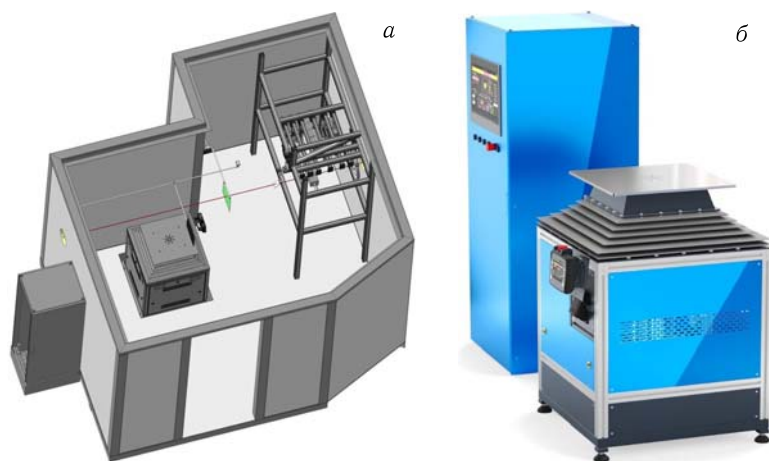


Рис. 3. 3D-модель станции СИМБО (а) и устройство для позиционирования облучаемых объектов на пучке (б)

Система диагностики представлена следующими детекторами: 4 ионизационными камерами, тонким сцинтилляционным детектором, алмазным детектором, системой на основе 4 сцинтилляционных детекторов для диагностики плотности потока частиц гало-пучка в режиме реального времени [3].

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта для молодых научных сотрудников (уникальный номер 21-102-09).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Syresin E., Agapov N., Alfeev A., Andreev V., Baldin A., Bazanov A., Brovko O., Bugaev V., Butenko A., Galimov A., Gorelyshev I., Donets D., Donets E.D., Donets E.E., Eliseev A., Filatov G., Fimushkin V., Golovenskiy B., Gorbachev E., Govorov A., Grebentsov A., Ivanov E., Karpinsky V., Kekelidze V., Kirichenko A., Khodzhibagiyani H., Kobets A., Kobets V., Konstantinov A., Korovkin S., Kostromin S., Kozlov O., Levterov K., Lyuosev D., Malyshev A., Martynov A., Melnikov S., Meshkov I., Mikhailov V., Mitrophanova Yu., Monchinsky V., Nesterov A., Osipenkov A., Osipov K., Pivin R., Philippov A., Ponkin D., Romanov S., Rukojatkin P., Shirikov I., Shurygin A., Sidorin A., Stepnev V., Slivin A., Trubnikov G., Tuzikov A., Vasilishin B., Volkov V. NICA Ion Collider at JINR // Proc. of the 27th Russ. Part. Accel. Conf. (RuPAC'21). 2021. P. 12–16.
2. Filatov G.A., Slivin A., Syresin E. M., Butenko A. V., Chesnov A. F., Parfilo T., Tuzikov A. V. New Beam Lines for Applied Research at the NICA Facility and Their Beam Dynamics // Phys. Part. Nucl. 2020. V. 17. P. 434–437.
3. Slivin A., Agapov A., Baldin A., Butenko A., Filatov G., Shipulin K., Syresin E., Timoshenko G., Tuzikov A., Bobrovskiy D., Chumakov A., Soloviev S., Glebov I., Luzanov V., Kubankin A., Kulevoy T., Titarenko Y. Description of the Beam Diagnostics Systems for the SOCIT, SODIT and SODIB Applied Research Stations Based on the NICA Accelerator Complex // Proc. of the 12th Intern. Part. Accel. Conf. (IPAC'21). 2021. P. 946–948.

Получено 26 января 2022 г.